

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE — N° 93

Contribution à l'Étude

DES

RÉSURGENCES

Étude géologique, chimique et bactériologique
de la " SOURCE MARTIN-HAUTE " (Doubs)

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
(SECTION DE PHARMACIE)

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 30 Juin 1923

PAR

GEORGES JANNEL

Né à Semezanges, le 18 Janvier 1891



LYON

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS LEGENDRE

14, rue Bellecordière, 14

1923

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE — N° 93

Contribution à l'Étude

DES

RÉSURGENTES

Étude géologique, chimique et bactériologique
de la " SOURCE MARTIN-HAUTE " (Doubs)

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(SECTION DE PHARMACIE)

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 30 Juin 1923

PAR

GEORGES JANNEL

Né à Semezanges, le 18 Janvier 1891



LYON

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS LEGENDRE

14, rue Bellecordière, 14

1923

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

DOYEN HONORAIRE.....	MM. HUGOUNENQ.
DOYEN	J. LEPINE.
ASSESSEUR	ROQUE.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, BEAUVISAGE,
LACASSAGNE, TESTUT, FLORENCE (A.).

PROFESSEURS

Cliniques médicales.....	MM. TEISSIER.
Cliniques chirurgicales	ROQUE.
Clinique obstétricale et Accouchements.....	BARD.
Clinique ophtalmologique	TIXIER.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	BÉRARD.
Clinique neurologique et psychiatrique.....	COMMANDEUR
Clinique des maladies des enfants.....	ROLLET.
Clinique des maladies des femmes.....	NICOLAS.
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	LEPINE (J.).
Clinique des maladies des voies urinaires.....	WEILL.
Clinique chirurgicale, infantile et orthopédie.....	POLLOSSON (A.).
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie.....	LANNOIS.
Chimie biologique et médicale.....	ROCHET.
Chimie organique et Toxicologie.....	NOVÉ-JOSSERAND
Matière médicale et Botanique.....	CLUZET.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.....	HUGOUNENQ.
Anatomie	MOREL.
Histologie	BRETIN.
Physiologie	GUIART.
Pathologie interne.....	LATARJET.
Pathologie et Thérapeutique générales.....	POLICARD.
Anatomie pathologique.....	DOYON.
Chirurgie opératoire.....	COLLET.
Médecine expérimentale et comparée et Bactériologie.....	MOURIQUAND.
Médecine légale.....	PAVIOT.
Hygiène	VILLARD.
Thérapeutique, Hydrologie et Climatologie.....	ARLOING (F.).
Pharmacologie	ETIENNE MARTIN.
	COURMONT (P.).
	PIC.
	MOREAU.

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe.....	MM. VALLAS.
— — Propédeutique de gynécologie.....	CONDAMIN.
— — Chimie minérale.....	BARRAL.
— — Urologie	GAYET.

CHARGES DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Anatomie topographique.....	MM. PATEL.
Embryologie	GRAVIER.
Orthopédie	LAROYENNE.
Puériculture et Hygiène de la première enfance.....	CHATIN.
Stomatologie	TELLIER.

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
NOGIER.	SAVY.	TRILLAT.	FAVRE.
LERICHE.	FROMENT.	SARVONAT.	BONNET.
THEVENOT (LÉON).	THEVENOT (LUCIEN)	FLORENCE (G.).	NOËL, chargé des
TAVERNIER.	PIÉRY.	ROCHAIX.	fonctions.
CADE.	COTTE.	CORDIER.	
GARIN.	DUROUX.	ROUBIER.	

M. BAYLE, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. COURMONT, *Président* ; MOREAU, *Assesseur*
MM. BARRAL et ROCHAIX, *Agrégés*.

La Faculté de Médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A MON PÈRE, A MA MÈRE

*Faible témoignage de ma profonde affection
et de ma vive reconnaissance.*

MEIS ET AMICIS

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

M. LE PROFESSEUR P. COURMONT

CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

PROFESSEUR D'HYGIÈNE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE

MÉDECIN DES HOPITAUX

DIRECTEUR DE L'INSTITUT BACTÉRIOLOGIQUE
DE LYON ET DU SUD-EST

A MES MAÎTRES

PRÉFACE

Il est inutile d'insister sur l'importance de la question de l'eau potable dans l'alimentation des villes. Les hygiénistes l'ont depuis longtemps établie. Mais le programme est lent à réaliser. Les graves événements que nous venons de traverser dans ces dernières années ont arrêté l'élan qui s'était produit avant 1914 en faveur de la création des services d'eau potable, dans les villes. Il est temps de le reprendre et nous n'avons cru mieux faire pour notre thèse inaugurale, que d'apporter une contribution à l'étude des eaux alimentant la région que nous habitons. Dans notre modeste sphère, nous aurons ainsi contribué à la reprise du mouvement auquel nous venons de faire allusion.

Nous avons effectué notre travail pendant les loisirs que nous laissait l'officine. S'il présente des imperfections, on nous les pardonnera facilement, je pense. Il a tout au moins le mérite d'avoir été fait sur place et avec toute la conscience possible.

Bien que nos analyses aient été effectuées, pour la plupart dans notre laboratoire de Pontarlier, elles ont été

contrôlées au laboratoire d'hygiène et dans celui de M. le professeur Barral, à la Faculté de Médecine et Pharmacie de Lyon.

Notre tâche a d'ailleurs été facilitée par les sympathies, les conseils éclairés et les renseignements qui nous ont été prodigués à de nombreuses occasions.

C'est pour nous, un devoir agréable que de témoigner notre vive gratitude à M. le professeur agrégé Rochaix qui nous a particulièrement aidé. Nous le remercions de l'accueil bienveillant qu'il nous a constamment réservé.

Nous sommes sincèrement reconnaissant à M. le professeur Moreau et à M. le professeur Barral, — qui mis au courant de nos travaux, nous a très obligeamment ouvert son laboratoire — d'avoir accepté d'assister à la discussion de cette thèse.

Nous ne saurions oublier nos Maîtres de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon à qui nous exprimons notre profonde gratitude.

Nous remercions, d'une façon toute spéciale, M. le professeur Fournier, doyen de la Faculté des Sciences de Besançon, qui très aimablement, nous a communiqué les résultats de ses nombreuses recherches géologiques et hydrologique sur le Jura-Comtois.

Enfin à tous ceux qui nous ont honoré de leur aide ou de leur sympathie, nous adressons nos sincères remerciements.

M. le professeur Courmont a bien voulu accepter la présidence de notre thèse. Nous apprécions, comme il convient, le grand honneur qu'il nous fait, et le prions d'agréer l'hommage de notre respectueuse reconnaissance.

GÉNÉRALITÉS

La présence de l'eau dans les anfractuosités du sol a suscité de nombreuses théories que les récentes explorations souterraines ont permis de juger.

Si Aristote et Descartes ont émis sur ce sujet des idées fantaisistes, reprises d'ailleurs, plus tard, sous une forme différente, par l'école allemande avec Volger; Vitruve et surtout Bernard de Palissy, avec une merveilleuse perspicacité, ont exposé, dans une formule à peu de choses près définitive, des idées que Dumas, dans son travail sur la « Science des Fontaines » (1857) devait développer d'une façon magistrale, et que les observations contemporaines confirment pleinement.

Les eaux souterraines sont dues à l'infiltration des précipitations atmosphériques, et non à la condensation des vapeurs produites aux dépens des eaux de la mer, par la chaleur des cavernes, ou à la condensation de la vapeur d'eau à l'intérieur du sol.

Cette infiltration dans les couches profondes peut s'opérer de façon variable suivant la nature des roches traversées.

Les unes imperméables (argiles, marnes, roches compactes non fissurées) rendent prépondérants le ruissellement et l'évaporation. Les autres, perméables, facilitent l'infiltration.

Ces dernières roches ont été subdivisées par Martel suivant le mode d'infiltration : l'infiltration par imbibition et imprégnation de toute la masse constitue la perméabilité directe (sables, graviers, alluvions) ; et l'infiltration par écoulement ou suintement, la perméabilité indirecte ou retardée (calcaires fissurés, craies).

Cette distinction a une importance capitale, car les eaux de la première catégorie sont filtrées — leurs émergences constituent les sources vraies ; — les autres non seulement ne subissent aucune filtration, mais encore sont en communication plus ou moins directe avec la surface du sol — leurs émergences sont nommées sources vaclusiennes.

Les sources vraies sont d'un débit modéré et régulier, généralement faible et reconnues, pour la première fois par Pasteur, bactériologiquement pures.

Les sources vaclusiennes ont un débit variable et ne possèdent, d'une façon permanente, aucune des constantes applicables aux sources vraies. Elles sont de beaucoup les plus intéressantes : d'abord, parce qu'elles sont les plus nombreuses (le calcaire fissuré occupant les $\frac{2}{3}$ de la France) et ensuite parce qu'elles sont souvent captées pour l'alimentation des villes à cause de leur débit généralement grand.

L'étude hydrogéologique de ces émergences du calcaire fissuré ; la valeur des eaux vaclusiennes considérées comme eau d'alimentation, feront l'objet de la première partie de ce travail.

L'étude hydrogéologique, chimique et bactériologique d'une émergence alimentant la ville de Pontarlier, la source Martin-Haute, en constituera la seconde partie.

Dans une troisième partie nous exposerons les méthodes analytiques que nous avons employées, ainsi que la signification, comme témoins de contamination, des éléments cherchés et dosés.

Enfin, les résultats fournis par les analyses nous permettront de tirer des conclusions.

CHAPITRE PREMIER

Étude des Sources Vauclusiennes.

DÉFINITION: — Les émergences du calcaire fissuré sont, suivant la définition de Babinet « des sources alimentées par des écoulements superficiels, même assez éloignés, à travers des terrains dont les fissures sont trop larges pour en assurer l'épuration dans des conditions satisfaisantes ».

L'étude de ces points d'absorption et par là même du bassin d'alimentation, ainsi que celle de la circulation souterraine, constituent, à proprement parler, l'enquête géologique prescrite par la circulaire ministérielle du 10 décembre 1900 pour tout captage d'eau destinée à l'alimentation publique.

MODE DE PÉNÉTRATION DANS LES TERRAINS DU CALCAIRE FISSURÉ. — Les terrains calcaires fissurés sont constitués par des couches à structure granulaire dont le degré de pénétration par imbibition est faible (1 mq de calcaire absorbe 0,5 % d'eau en poids). L'eau météorique ne pénètre dans ces terrains que par trois sortes de fissures

naturelles: les joints, c'est-à-dire les plans de stratification; les diaclases, qui sont perpendiculaires ou légèrement obliques au plan de stratification; les failles, qui sont des accidents géologiques ayant disloqué les terrains.

Ces fissures sont de dimensions extrêmement variables suivant la résistance du terrain à l'action corrosive et érosive de l'eau.

Si par suite de la nature lithologique de la roche attaquée, de la tectonique, du climat ou de l'altitude, cette double action de l'eau ne se manifeste que très partiellement ou est nulle, la fissure reste invisible et l'eau s'écoule goutte à goutte. Ce mode de pénétration est le plus général et constitue la *percolation*.

Si, au contraire, l'action dissolvante et oxydante de l'eau qui s'est chargée, par son passage dans l'atmosphère, d'O-Az-CO²-NH³-NO³H-CO³-NH⁴, s'exerce sur une roche tendre ou une couche facilement attaquable, la fissure s'agrandit, la roche se désagrège rendant plus faciles l'usure et le creusement. Le résultat de cette action chimique et mécanique est la formation :

a) Des pertes d'eau qui se forment surtout au point de jonction d'un terrain imperméable et d'un terrain fissuré;

b) D'abîmes, caractérisés par une profondeur supérieure à la largeur et par des chutes brusques en escaliers. Ils sont actifs ou morts selon qu'ils fonctionnent ou ne fonctionnent pas comme puits absorbants. En général, les abîmes morts ne communiquent pas directement avec le réseau souterrain, mais d'une façon indirecte « par

des tuyautages rétrécis, contrariés, obstrués de débris et aboutissant souvent fort loin de l'origine des gouffres » ;

e) De bassins fermés : dépressions plus ou moins vastes de forme généralement circulaire, dont le caractère particulier est d'être plus larges que profondes. Dans ces bassins fermés les eaux pénètrent à l'intérieur du sol, soit par des failles ou des diaclases, où alors colmatées « par les argiles de décalcification et les alluvionnements, se rassemblent pour donner naissance à des tourbières ou à des lacs avec ou sans écoulement. Sur les bassins fermés du Jura, Parandier s'exprime ainsi « les eaux fluviales y pénètrent dans le sous-sol, y suivent les lignes de fractures, failles et cavités qui s'y trouvent, et vont surgir au pied des côteaux extérieurs aux bassins fermés; l'ensemble des surfaces qu'ils occupent dans le Doubs est au moins le quart du département tout entier ».

CIRCULATION SOUTERRAINE. — Continuant à désagréger la roche en se minéralisant, les eaux descendent jusqu'à ce qu'elles aient rencontré une assise imperméable. Alors elles s'accumulent, remplissant les cavités, se mouvant tantôt lentement, tantôt rapidement, de diaclases en diaclases qui s'anastomosent, surtout pendant les crues, en un réseau très serré et très étendu, faisant communiquer souvent plusieurs niveaux aquifères ensemble, et créant ainsi de véritables rivières souterraines semblables aux rivières aériennes.

Elles s'en distinguent cependant par l'existence de trois obstacles spéciaux : le rétrécissement extrême des galeries qui permet une mise en charge rapide d'un volume d'eau

considérable ; les éboulements qui constituent des barrages derrière lesquels les eaux, par régime sec, viennent se décanter ; des abaissements de plafonds qui provoquent des voûtes mouillantes ou siphons d'aqueduc qui expliquent l'intermittence de certaines sources.

Ces trois obstacles à l'écoulement des eaux régularisent, dans une large mesure, le débit des exutoires et donnent à ces émergences, quand elles sont en relation avec un vaste réseau souterrain, l'allure de sources perennes.

BASSIN D'ALIMENTATION. — Le régime et la complexité des réseaux souterrains, anastomosés, rendent extrêmement difficile la détermination du bassin d'alimentation d'une émergence donnée.

Cette détermination est cependant de la plus grande importance, car elle permet d'établir les relations entre le réseau souterrain et les pertes et abîmes et de connaître ainsi l'origine des eaux alimentant l'émergence.

Le seul moyen pratiquement utilisé pour se rendre compte de ces relations est l'emploi de substances colorantes, principalement de la fluorescéine, dont la coloration à 1/40.000.000 est visible à l'œil nu (orangée par transparence, verte par réflexion). Une expérience à la fluorescéine faite en 1910 par Martel, Maréchal, Fournier, a prouvé d'une façon irréfutable, la communication du Doubs avec la superbe résurgence de la Loue confirmant ainsi l'indication donnée par la présence d'absinthe à la « source de la Loue » après l'incendie des Usines Pernod, 11 août 1901.

CHAPITRE II

Valeur hygiénique des émergences du calcaire fissuré.

Ainsi donc, les eaux qui pénètrent dans les couches profondes du sol par les points d'absorption du calcaire fissuré, après avoir circulé dans les galeries, poches, réservoirs souterrains, réapparaissent au jour en des issues appelées résurgences, si l'eau a eu un parcours aérien et exurgences si ce parcours n'existe pas.

La valeur hygiénique de ces émergences est subordonnée à la nature des fissures, à l'abondance des précipitations atmosphériques, à la présence ou l'absence de forêts, cultures, villages sur le terrain d'absorption. Elle dépend aussi du mode de circulation dans le réseau souterrain.

a) *Les fissures.* — Lorsque les fissures aquifères sont colmatées par les résidus meubles de décomposition des roches, principalement par des sables siliceux, qui ont un très grand pouvoir d'adsorption, elles constituent pour l'eau de véritables filtres. L'eau est alors comparable, au point de vue pureté, à celle des sources vraies.

Mais ce n'est là qu'un cas assez rare. Le plus souvent les fissures ne sont pas colmatées; la roche est alors un crible au travers duquel l'eau s'infiltre goutte à goutte pour donner naissance aux exurgences qui ne peuvent être bonnes que si leur bassin d'alimentation est boisé, inhabité et inculte.

Quant aux résurgences alimentées soit par des pertes d'eau (rivières, lacs), soit par des bassins fermés (c'est le cas le plus général dans le Jura), elles sont extrêmement dangereuses. La contamination peut être massive.

Il en est de même pour les émergences dont le réseau souterrain est en relation directe avec des abîmes actifs ou indirects avec des abîmes morts. Les explorations souterraines ont montré que ces derniers servaient le plus souvent de dépotoirs et que de nombreux cadavres animaux achevaient de se décomposer sur le fond; comme ils ne jouent le rôle de puits absorbants que par grandes pluies, ils provoquent la contamination temporaire du réseau alors qu'elle est permanente dans les autres cas.

b) *Le régime des pluies.* — Il est évident que plus les précipitations sont abondantes, plus leur force de transport et de pénétration dans les anfractuosités est grande, plus elles entraînent d'immondices et de déchets. De même la contamination est plus grave lorsqu'à une période prolongée de sécheresse succède une saison pluvieuse (sécheresse d'été, pluies d'automne ; pluies d'orage pendant l'été), car une des conséquences de la sécheresse est le fendillement du sol et par suite l'augmentation du nombre des fissures par où pénètrent des eaux chargées de tous les germes qui, pendant une longue période, ont

pullulé sur le sol, et des immondices qui s'y sont accumulées.

c) *La présence ou l'absence de bois, de culture, de villages.* — Le boisage du bassin d'alimentation des sources est tellement important, aussi bien pour la conservation de la montagne que pour la régularisation du régime des eaux, que tous les pays ont établi une législation forestière qui oblige à reboiser les terrains dénudés et limite les coupes dans les forêts.

L'arbre, en effet, protège le sol du ravinement par ses racines qui, maintenant les terres dans un réseau serré et divisant les filets d'eau qui tendent à devenir importants, limitent la quantité d'eau de ruissellement et favorisent l'infiltration.

En outre, la forêt est non seulement le condensateur froid, par l'humidité persistante des sous-bois et de la couverture de feuille, où la vapeur d'eau se résout en pluie, mais encore sa présence exclusive dans un bassin d'alimentation est une garantie contre la contamination des eaux souterraines. Elle n'apporte, en effet, au sol, aucune des souillures qui rendent dangereuses les eaux dont le bassin d'alimentation est cultivé ou habité. Seule, la contamination d'origine animale est à craindre : fumiers et engrais sur les terrains cultivés; eaux d'égout, eaux résiduaires et industrielles pour les villes et les villages.

d) *La circulation souterraine.* — Dans son importante thèse sur « les eaux d'alimentation du Doubs », le docteur Maréchal a montré, comme résultat de ses nombreuses analyses, que le régime bactériologique des

résurgences est extrêmement variable. Cette particularité est due à la nature des accidents souterrains et au régime souterrain des eaux.

1° L'eau qui sert de véhicule aux matières en suspension et aux microbes, par temps de sécheresse, se meut lentement dans le circuit souvent compliqué de son réseau souterrain. Là, elle se heurte aux voûtes mouillantes, aux éboulements, aux rétrécissements de galeries qui obstruent son passage, ralentissent sa marche. Elle subit alors une véritable décantation comme le prouvent les expériences à la fluorescéine faites par le professeur Fournier : « La coloration réapparaissait quelquefois au bout de plusieurs jours, à la suite d'une crue, ce qui démontre qu'en basses eaux, les produits d'infiltration de la surface s'accumulent dans les dépressions, ou dans les galeries-réservoirs et qu'au moment des crues, tous les produits ainsi accumulés sont de nouveau entraînés dans l'émissaire principal du réseau. »

Si aucune crue ne vient remettre le dépôt en mouvement, l'analyse bactériologique ne décèle plus de traces notables de contamination.

C'est que certaines espèces microbiennes ne peuvent coexister dans un même milieu (bacille typhique et *Proteus*) et qu'il s'établit une véritable concurrence vitale. Mais ce n'est là que la moindre cause de cette purification qui n'est qu'apparente : la plus grande partie des microbes n'est pas détruite, mais colmatée et précipitée par adsorption derrière les seuils souterrains en même temps que les substances terreuses (surtout carbonate de chaux et argile ainsi que les matières organiques). Ces boues constituent alors un milieu favorable au développement

des ferments nitreux et nitriques et sont le siège d'oxydations comme le prouve l'absence des nitrites. La variation du titre nitrique permet donc d'apprécier l'intensité de la vie microbienne et par là le degré de contamination (Schloesing).

Enfin ces oxydations de la matière organique sont particulièrement nuisibles à la multiplication des microbes dont certains perdent même leur propriété pathogène; d'où la présence, signalée par le docteur Maréchal, de coli-bacilles anormaux ayant perdu, avec leur virulence, certaines de leurs propriétés réactionnelles (formation d'indol, coagulation du lait).

2° Néanmoins le coli-bacille, le bacille d'Eberth, et les para-typhiques ne sont pas détruits par cette oxydation; puisqu'ils persistent dans les eaux d'égout même après leur traitement par les systèmes les plus perfectionnés comme celui des « boues activées » (Courmont et Rochaix). Aussi sont-ils remis en mouvement à la première crue souterraine et l'eau apparaît à la source « chargée non seulement des microbes entraînés sur le sol, mais encore des produits de décantation des galeries. Il se manifeste ainsi une crue microbienne qui est intense et rapide ».

En résumé :

Les terrains calcaires, sauf lorsque leurs fissures sont remplies de dépôts sableux fins, ne filtrent pas l'eau.

« La qualité des eaux d'origine vauclusienne est essentiellement variable, comme leur régime; dès que leur bassin est le moins suspect, on doit les écarter

d'une façon générale dans tous les projets d'alimentation ». Proposition qui se trouve résumée dans cette expression de Van den Broeck « les eaux jurassiennes sont inquiétantes ».

Chaque émergence constitue un cas bien spécial qu'il importe d'étudier.

Une longue série d'analyses est nécessaire pour formuler une opinion sur la valeur hygiénique d'une émergence donnée.

CHAPITRE III

La source Martin-Haute.

SITUATION. — La source Martin-Haute est située sur le territoire de la commune des Fourgs, non loin de la route nationale n° 67, derrière l'ancienne scierie Martin, au fond d'une petite vallée, à 910 mètres d'altitude environ.

HISTORIQUE. — Utilisées depuis 1893, les eaux ne furent l'objet d'une étude de captage que beaucoup plus tard, à la suite de la découverte, dans le coursier en tôle de l'usine, d'où les eaux passaient directement dans la conduite de la ville « d'un quartier de viande plein de vers provenant d'une génisse morte on ne sait dans quelles conditions ».

Ce captage devait, en outre, augmenter le débit utile de la source en permettant de récupérer les pertes d'eau très nombreuses en ce point.

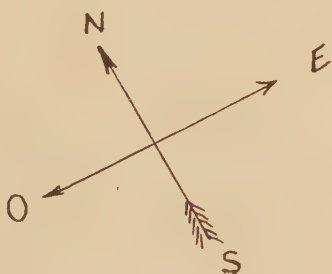
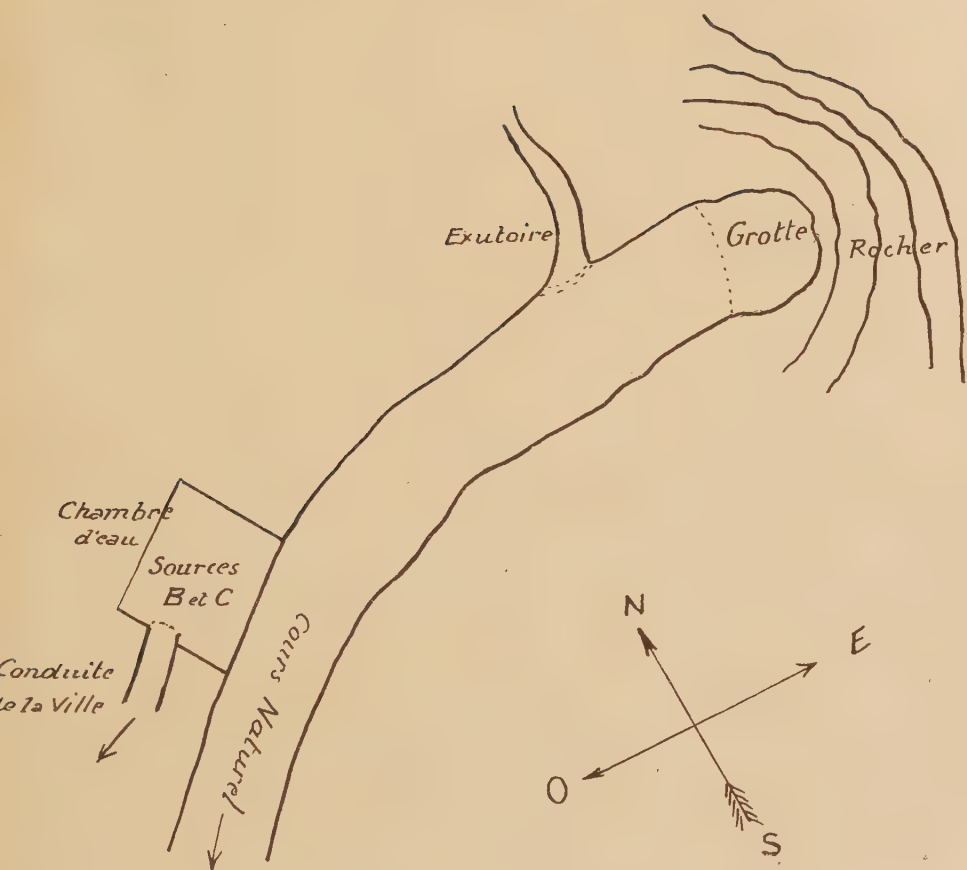
CAPTAGE. — Les travaux furent commencés en 1900 là, où coulait d'une façon continue, aveuglée par un amas d'éboulis, une source désignée dans les différents rapports sous le nom de « source B » beaucoup plus importante qu'une autre « source C » située à quelques mètres de là.

Dès le début des travaux, les fouilles nécessaires à l'établissement de la chambre d'eau des sources B et C, mettaient à jour des filets d'eau qui semblaient venir du cirque rocheux, qui à 25 mètres, en amont, ferme la vallée et dont l'allure torrentielle indiquait une origine autre que celle des sources voisines. Une tranchée ouverte, dans la direction du rocher, devait amener la découverte d'une grotte naturelle de 25 à 30 mq de surface.

Des différents rapports qui traitent de cette grotte il ressort :

1° Que son étanchéité est loin d'être parfaite — le contraire eût étonné en terrain fissuré — et qu'elle est en relation souterraine avec le groupe des sources voisines ;

2° Que son débit est extrêmement variable. L'écoulement est nul pendant la sécheresse, alors que par grandes pluies, elle jette abondamment des eaux que vient encore grossir l'apport d'un exutoire naturel situé à peu de distance d'elle, sur la gauche, pour donner naissance à un véritable torrent. Ce sont ces eaux qui furent canalisées dans un tunnel étanche, en maçonnerie, et dirigées en dehors de la chambre d'eau.



ORIGINE DES EAUX. — Il apparaît dès maintenant que l'origine des eaux captées et servant à l'alimentation de Pontarlier est double. Les circonstances devaient, dans la même année de 1913, permettre de confirmer ce qui n'était en 1902 qu'une opinion basée sur l'allure pérenne et torrentielle des émergences. Ces circonstances sont d'une part, une épidémie de fièvre typhoïde à Pontarlier, et d'autre part, les travaux du tunnel du Mont-d'Or.

a) *La fièvre typhoïde à Pontarlier.*

A la suite de l'épidémie de fièvre typhoïde à Pontarlier, une expérience à la fluorescéine fut exécutée, d'après les indications du professeur Fournier, dans le puits perdu, qui, sous la fromagerie des Fourgs, sert d'exutoire aux eaux résiduaires. La coloration parut quelque temps après à la source Martin-Haute, comme d'ailleurs à la source Martin-Basse et Ponthibaut, démontrant ainsi que ces sources sont en relation plus ou moins directe avec le plateau des Fourgs, qui présente certaines particularités.

Il constitue d'abord à 1.090 mètres d'altitude environ un bassin fermé où se trouvent des accidents topographiques variables : un petit gouffre (la Baume-Gagelin, près du hameau des Petits-Fourgs); des dépressions où se rassemblent par grandes pluies les eaux qui s'écoulent alors par des fissures dans l'intérieur du sol. En outre, ce bassin fermé est habité et cultivé. Le village des Fourgs orienté nord-ouest sud-est est construit sur la roche calcaire, le long d'une de ces dépressions qui drainent les eaux de cette partie du village où se trouvent « la fabrique d'escargots », le cimetière, les cabinets des

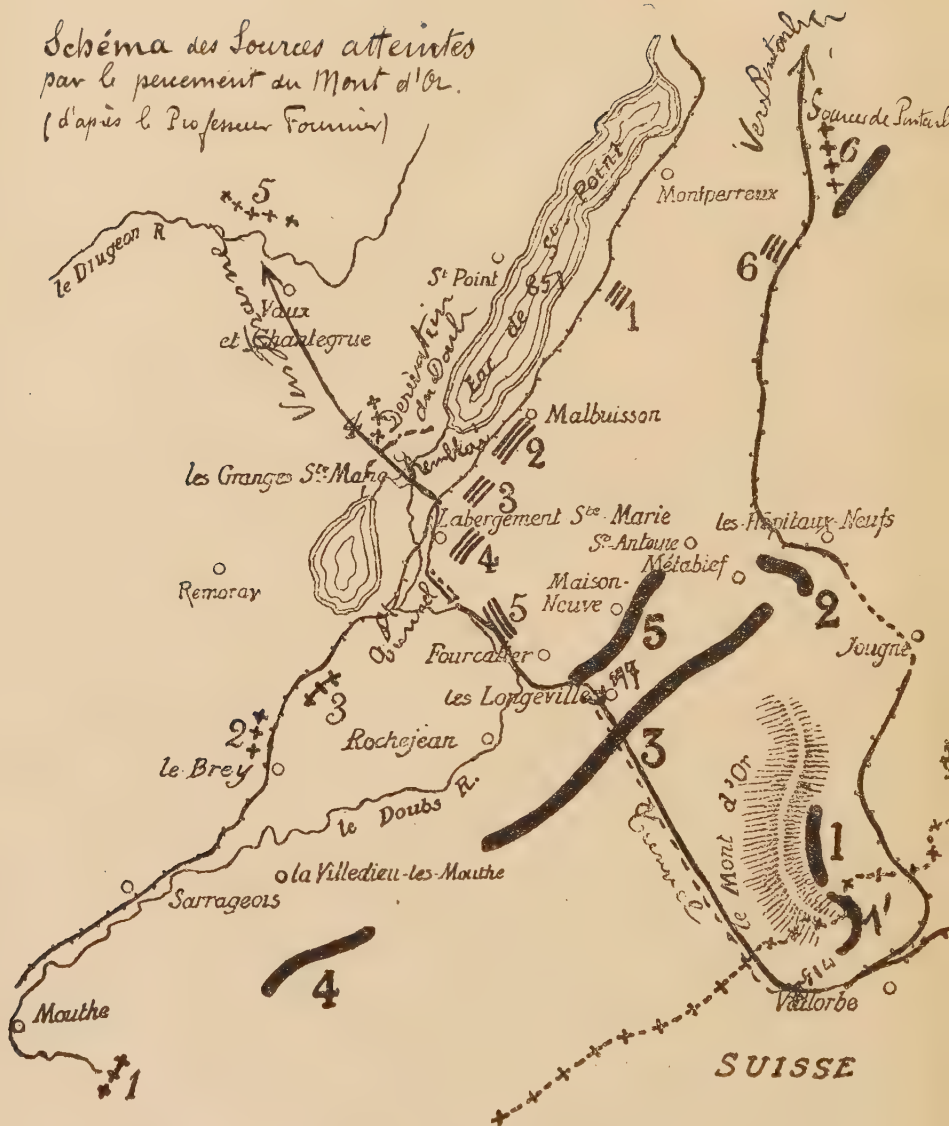
écoles, de nombreux fumiers et la fromagerie. On conçoit que dans de telles conditions les apports faits à nos sources les rendent « inquiétantes »; d'autant plus qu'ils peuvent être fortuits, indépendants du régime des pluies, comme ce fut le cas au mois de juillet 1922. A cette époque les sources de Pontarlier, dans des proportions variables, ont été brusquement contaminées par le jet, dans le puits perdu de la fromagerie, d'une grande quantité de petit lait, qui, jusqu'à cette époque, avait servi à l'entretien d'une importante porcherie. L'odeur nauséabonde constatée à l'une des sources, plus directement contaminée (la source Ponthibaut) était due à la puanteur des produits de fermentation et de putréfaction du petit-lait.

b) *Les travaux au tunnel du Mont-d'Or :*

Quant à l'autre origine, elle est démontrée par les variations de débit des sources de Pontarlier et principalement de Martin-Haute, constatées et relatées par le professeur Fournier, après l'enlèvement du barrage en maçonnerie qui obturait la diaclase recoupée par le tunnel, dans l'expérience dite « du bouchon » lors du percement du Mont-d'Or.

« Aussitôt après l'ouverture de la vanne du bouchon, le 21 février, dès 5 heures du soir, la diminution à la source Martin-Haute devenait très importante; en 6 jours, du 21 au 27, elle atteignait 17 centimètres, soit près de 3 centimètres par jour. Le 28, la source Martin-Haute baissait encore de 2 cm 5 et ne donnait plus que 74 litres au lieu de 101 le jour précédent. La source Basse qui

Schéma des Sources atteintes
par le percement du Mont d'Or.
(d'après le Professeur Fournier)



- Zones dans lesquelles les sources disparaîtraient presque complètement après l'achèvement du Tunnel.
- ≡ Zones dans lesquelles la diminution considérable de débit est certaine et où la disparition complète de certaines sources est probable.
- +++ Zones dans lesquelles la répercussion sera moins directe, et plus tardive.

donnait 21 litres le 21 février n'en donnait plus que 13 le 28..... Jamais pareille diminution n'avait été observée même par les plus grandes sécheresses ».

D'autre part, nous avons pu constater que la température des eaux, à l'étiage, était invariable et très voisine de 7 degrés (octobre et janvier) ce qui est l'indice de la nature profonde des eaux qui émergent à des altitudes supérieures à celle du tunnel du Mont-d'Or, alimentées par des cours d'eau souterrains siphonnés et anastomosés en un réseau complexe et très étendu. Le Mont-d'Or est, en effet, distant de 13 à 14 kilomètres des sources de Pontarlier; la capacité du réseau explique l'allure perenne de ces sources.

Ainsi donc, la source Martin-Haute formée par des eaux qui viennent sourdre côte à côte, mais d'origine nettement différente, constitue, comme ses voisines qui procèdent de la même formation, un bel exemple de la multiplicité des zones aquifères, qui, dans les terrains calcaires fissurés, sont aussi nombreuses que les assises imperméables.

CLIMATOLOGIE. — Les bassins d'absorption de la source Martin-Haute se trouvent situés à des altitudes variant de 1.460 à 1.000 mètres et font partie de la région subalpine du Jura.

La climatologie de cette région est tout à fait caractéristique. D'après les observations recueillies par M. Magnin, la hauteur annuelle de la pluie est de 1.700^{mm} à 1.800^{mm}. Le nombre de jours pluvieux est relativement faible, aussi les pluies sont-elles très abondantes.

La hauteur de la neige est très variable suivant la

région considérée, mais très importante. Elle augmente de 0,25 par 100 mètres, alors que la durée de la couverture de neige augmente de 20 jours pour la même élévation.

En été, les orages de chaleur sont très violents et souvent à répétition. Ils se résolvent en véritables trombes d'eau.

D'une façon générale, les précipitations atmosphériques sont très abondantes, et revêtent un caractère de soudaineté et de violence qui les rend dangereuses.

ROLE ÉPIDÉMIOLOGIQUE. — L'eau est le vecteur d'un grand nombre de germes, simples saprophytes, suspects ou franchement pathogènes. On sait, en effet, que l'eau peut véhiculer le bacille d'Eberth, les bacilles paratyphiques, le vibron cholérique et constituer l'origine d'épidémies des maladies correspondantes.

En ce qui concerne la fièvre typhoïde, il est depuis longtemps démontré que les épidémies massives et courtes relèvent presque toujours de la contagion d'origine hydrique.

A Pontarlier, cette maladie a sévi sous forme de véritables épidémies certaines années ainsi qu'il ressort de la statistique ci-dessous :

1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917
0	40	30	50	8	1	2	2
		1918	1919	1920	1921		
		3	4	3	2		

Ainsi en 1911, 1912, 1913, les cas d'infection typhique

ont été nombreux. Sont-ils dus à une contamination d'origine hydrique ?

Les observations du médecin des épidémies qui les a étudiées ont été résumées ainsi :

« 1911. — La fièvre typhoïde a présenté cette année une fréquence inaccoutumée causant 40 cas. A la suite de l'été très chaud, il se fit des fractures ou fissures du sol, qui aux premières grandes pluies favorisèrent les infiltrations massives des eaux de surface et par suite la contamination des nappes profondes.

« 1912. — Une épidémie de typhoïde a sévi à Pontarlier en novembre, décembre. 32 cas déclarés causaient trois décès. Il y a lieu d'admettre pour les premiers cas de l'épidémie, une origine hydrique par pollution accidentelle des eaux d'alimentation de la ville à l'occasion des pluies abondantes. Secondairement, la mauvaise hygiène d'un quartier de la ville favorise l'éclosion d'un foyer épidémique qui produit les 4/5 des cas... Les travaux du terrassement pour l'établissement de la ligne Frasnè-Vallorbe peuvent être incriminés comme cause probable des cas de typhoïdes signalés à Frasnè-Bouverans.

« 1913. — En 1913, comme en 1912, la fièvre typhoïde a présenté un caractère épidémique. Elle a causé plus de 50 cas en ville avec 9 décès; les eaux restent suspectes mais ne peuvent être incriminées d'une façon absolue. »

En somme nous ne pouvons conclure de façon certaine à l'origine hydrique des cas de typhoïde relevés, les détails des enquêtes épidémiques nous ayant manqué.

Quant à la diminution brusque du nombre des cas à partir de 1914-16, elle doit trouver une de ses raisons,

sinon la principale, dans les mesures prises par l'autorité militaire à divers points de vue, sans parler du départ de nombreux mobilisés, soumis d'ailleurs à la vaccination antityphoïdique. En tout cas l'intérêt lié à la question de la qualité de l'eau distribuée à Pontarlier n'en est pas diminué.

CHAPITRE IV

Étude des variations de la source.

Cette étude comporte l'exposé des méthodes d'analyses et les conclusions qu'il faut tirer d'une série d'analyses.

Méthodes d'analyses. — L'analyse d'une eau se compose de deux opérations distinctes, dont les résultats sont également nécessaires pour apprécier la valeur d'une eau : c'est d'une part, l'analyse chimique, et d'autre part, l'analyse bactériologique.

N'ayant à considérer que le côté hygiénique de la question, seules, les recherches qui permettent de dépister une contamination ont été effectuées.

L'analyse chimique a été limitée à la recherche et au dosage des chlorures, de la matière organique dosée en milieu alcalin et acide, de l'ammoniaque, de l'acide nitreux, de l'acide nitrique, des sulfates, de l'alcalinité par hydrotimétrie et acidimétrie.

L'analyse bactériologique a consisté dans la recherche globale des microbes de contamination d'origine intesti-

nale suivant la méthode de Rochaix; mais nous avons précisé la présence des coli-bacilles et des paracoli-bacilles par la recherche de la fermentation de la lactose et celle de l'indol, qui, associés au virage du rouge-neutre, permettent d'affirmer la présence de ces bactéries.

Pour chacun des éléments considérés nous indiquerons la signification qui est donnée à sa présence dans l'eau; le principe de la recherche ainsi que l'exposé sommaire de la technique employée.

ANALYSE CHIMIQUE

Chlorures. — En dehors des cas, où les eaux sont voisines de la mer ou traversent des terrains imprégnés de chlorure de sodium, elles ne renferment que des quantités négligeables de sel. Le chlorure de sodium ne pouvant avoir d'origine autre que l'origine animale, on est en droit de conclure, que les variations dans le taux des chlorures est l'indice d'une souillure animale. L'urine en renferme en effet 1,2 %.

Malmejac qui fait du dosage des chlorures « la clef de voûte » de l'analyse d'eau tire les conclusions suivantes :

« Si on constate en même temps qu'une augmentation de chlorures, une augmentation de matières organiques, on se trouve en présence d'une souillure proche, ou provenant de terrains non filtrants. Si au contraire les chlorures seuls augmentent, il s'agit d'une souillure animale éloignée ou arrêtée par les terrains traversés; on est alors mis en garde contre une défaillance du filtre. D'autre part, si on constate une augmentation des matières organiques sans que le taux normal des chlorures soit

dépassé, on peut conclure que les matières organiques sont d'origine végétale ».

Dosage. — La méthode employée est la méthode volumétrique de Mohr avec la modification de Florence. Elle consiste à faire tomber dans 100 cmc d'eau additionnée de chromate de K, $\text{AzO}^3\text{Ag N}/100$ jusqu'à teinte nettement rouge et à ramener cette teinte au blanc-jaunâtre avec $\text{N}/100 \text{ NaCl}$.

La quantité de chlorures calculée en NaCl s'établit alors ainsi :

$$(\text{N}-n) \ 0,000585 \times 10 = \text{NaCl par litre}$$

Matières organiques. — L'eau devient par la matière organique qu'elle peut contenir un milieu favorable au développement des germes. La matière organique dans une eau est l'indice d'une mauvaise filtration ou d'une contamination par les eaux superficielles.

Dosage. — Le dosage des matières organiques peut s'effectuer de différentes façons, mais le procédé de Pouchet et Bonjean est le plus usité. Il est convenu de compter comme matières organiques le poids de permanganate consommé par litre d'eau. Le dosage se fait en liqueur acide et en liqueur alcaline. Dans le premier cas, on attaque les matières organiques dont le noyau est peu résistant; alors que l'urée, les produits amidés ne subissent aucune décomposition. Ces produits qui sont tous des produits animaux ne sont attaqués qu'en milieu alcalin. La comparaison des deux dosages permet d'apprécier la nature de la souillure.

Corps azotés. — Indépendamment des combinaisons organiques azotées, l'azote peut exister dans l'eau sous forme d'ammoniaque, de nitrites de nitrates.

a) L'azote à l'état ammoniacal provient de l'hydrolyse provoquée par les microbes, des dérivés organiques amidés tels que l'urée, les albuminoïdes d'origine animale et végétale; ou bien encore de la réduction des nitrites et des nitrates sous l'action de certaines espèces microbiennes comme le *B. Subtilis*. La présence d'ammoniaque dans l'eau indique une souillure animale, si les chlorures sont abondants ou même variables, et végétale si la teneur en chlorure est faible ou invariable (ce qui a lieu pour les eaux de sol tourbeux et marécageux). Dans le premier cas la présence d'ammoniaque est l'indice d'une contamination grave;

b) Les nitrites sont des corps très instables qui servent de transition entre NH^3 et NO^3H . Ils peuvent provenir d'une nitrification incomplète ou d'un début de dénitrification des nitrates. Ces transformations n'étant dues qu'à l'action microbienne, il s'ensuit que leur présence indique une vie bactérienne très développée.

c) Les nitrates représentent le terme ultime de l'oxydation de l'azote. Il s'en forme des traces dans l'atmosphère, sous l'influence de la décharge électrique. Ils peuvent avoir, en outre, deux origines :

Etant extrêmement diffusibles, ils peuvent provenir des nitrates du sol et alors leur présence ne saurait être dangereuse si le taux n'est pas trop élevé.

Mais ils peuvent être le résultat d'une destruction de

la matière organique par oxydation. Dans ce cas, s'ils ne sont pas associés à une forte dose de chlorures « il est permis d'admettre que leur origine est essentiellement végétale, que leur présence n'est pas un mauvais signe (Ogier et Bonjean) ». S'il en était autrement « l'eau devrait être considérée comme suspecte, car si le travail de la nitrification était interrompu, les nitrites et la matière organique apparaîtraient (Duclaux) ».

Recherches et dosages. — 1° Ammoniaque. — La recherche se fait avec le réactif de Nessler, par formation d'un iodomercurate d'ammonium qui communique à l'eau une coloration jaunâtre visible encore à 1/4.000.000 de NH^3 .

Le dosage se fait par colorimétrie, en comparant les teintes obtenues, d'une part, avec un volume connu d'eau à analyser; d'autre part, avec des dilutions variables d'une solution-type de NH^4Cl correspondant à 0 mgm ou d'Az soit 0 mgm 0 12 d' NH^3 par cm^3 ;

2° Azote nitreux. — La recherche se fait par la méthode de Griess. Elle repose sur la coloration rouge obtenue lorsque l'acide sulfanilique se trouve en présence d'un nitrite en solution acide et la naphthylamine.

On dose colorimétriquement à l'aide d'une solution-type de AzO^2K dont 1cc=0 mgm 1 de Az^2O^3 ;

3° Azote nitrique. — Nous avons employé la méthode classique de Grandval et Lajoux basée sur la transformation du phénol contenu dans le réactif sulfo-phéniqué en acide picrique, par l'action de NO^3H , et sur l'intensité de coloration que possède le picrate d'ammoniaque.

On opère sur le résidu de l'évaporation de 20 cc. d'eau. On compare la teinte avec celle obtenue en ajoutant 5 cc. d' NH^3 à des quantités variables d'une solution-type de picrate de K dont 1 cc. = 0 mgm 001 d'Az et 0 mgm 0072 d' AzO^3K .

La quantité de nitrates par litre est donnée par l'équation :

$$\frac{X \times 1000}{20} = \text{mgm NO}^3\text{K par litre}$$

Phosphates. — La présence de phosphates dans les eaux indique, en dehors de l'origine minérale, qu'elle peut avoir dans certains terrains granitiques, des infiltrations de matières fécales, d'urines, d'eaux résiduaires et industrielles, d'eaux de lavage superficiel des terrains cultivés à l'aide d'engrais phosphatés. La dose tolérée est de 0 mgm 5 par litre. Dans les terrains calcaires les phosphates se transforment en phosphates calciques tenus en dissolution dans l'eau grâce à CO^2 .

Dosage. — Méthode de Dénigès appliquée à l'analyse des eaux par M. Daniel Florentin. — Formation en milieu acide d'un complexe phosphomolybdique de coloration bleue obtenue par l'action d'une solution acide de sulfomolybdate d'ammonium et d'une solution étendue de chlorure stanneux.

Solutions nécessaires :

Sol. n° 1. — Solution de molybdate d'ammoniaque

à 10 % : 100 cm³; acide sulfurique à 50 % en poids : 300 cm³;

Sol. n° 2. — Solution de chlorure stanneux obtenue en dissolvant 0,10 d'étain pur dans 2 cm³ HCl en présence d'une trace de cuivre; cette solution est étendue à 10 cm³.

(Il est nécessaire de renouveler souvent cette solution à cause de la transformation rapide du chlorure stanneux en chlorure stannique).

Technique. — A 10 cm³ d'eau à analyser, ajouter 3 à 4 gouttes de réactif n° 1 puis 1 à 2 gouttes de réactif n° 2. Attendre l'apparition de la coloration qui est invariable au bout de 10 minutes. Comparer alors l'intensité de la coloration bleue à celle obtenue avec des quantités variables d'une solution de phosphate de soude à 5 mgm par litre (1 mgm de P²O⁵). La coloration est très franche avec une solution contenant 0 mgm ou de P²O⁵ par litre.

Hydrotimétrie. — C'est l'étude de la dureté de l'eau. Elle n'a, comme on sait, au point de vue hygiénique, qu'une importance relative. Néanmoins nous avons déterminé les degrés hydrotimétriques total et permanent qui constituent des renseignements utiles.

Alcalinité. — L'alcalinité de l'eau a été déterminée par

dosage acidimétrique à l'aide de N/10 SO⁴H² sur 100 cc. d'eau additionnée de 2 gouttes de solution saturée d'orange 3 Poirrier qui vire du jaune au rose.

L'alcalinité est exprimée en CO³Ca (c'est le degré de Bonjean).

ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE

L'analyse bactériologique est effectuée environ une heure après le prélèvement — temps nécessaire au transport de la source au laboratoire — sur des échantillons d'eau recueillis dans des flacons de 60 cc. Chaque flacon bouché à l'ouate, porte, attaché au goulot, un bouchon de liège ; le tout enveloppé dans du papier est stérilisé au four à flamber à 180 pendant 20 minutes.

Le flacon immergé dans la masse d'eau est alors débarrassé de son coton; il se remplit. Il est ensuite hermétiquement bouché à l'aide du bouchon de liège ce qui permet un transport plus facile.

Chaque prélèvement est alors soumis à l'analyse.

Nous avons effectué, d'une part, la numération des germes par la méthode classique de Miquel; d'autre part, la recherche de la contamination globale de l'eau, par les germes d'origine intestinale, suivant la méthode rapide de Rochaix; mais pour plus de précision, nous avons pratiqué, comme nous l'avons indiqué précédemment, l'identification des coli-bacilles au moyen des caractères indiqués plus haut.

CHAPITRE V

Analyse de la Source Martin-Haute.

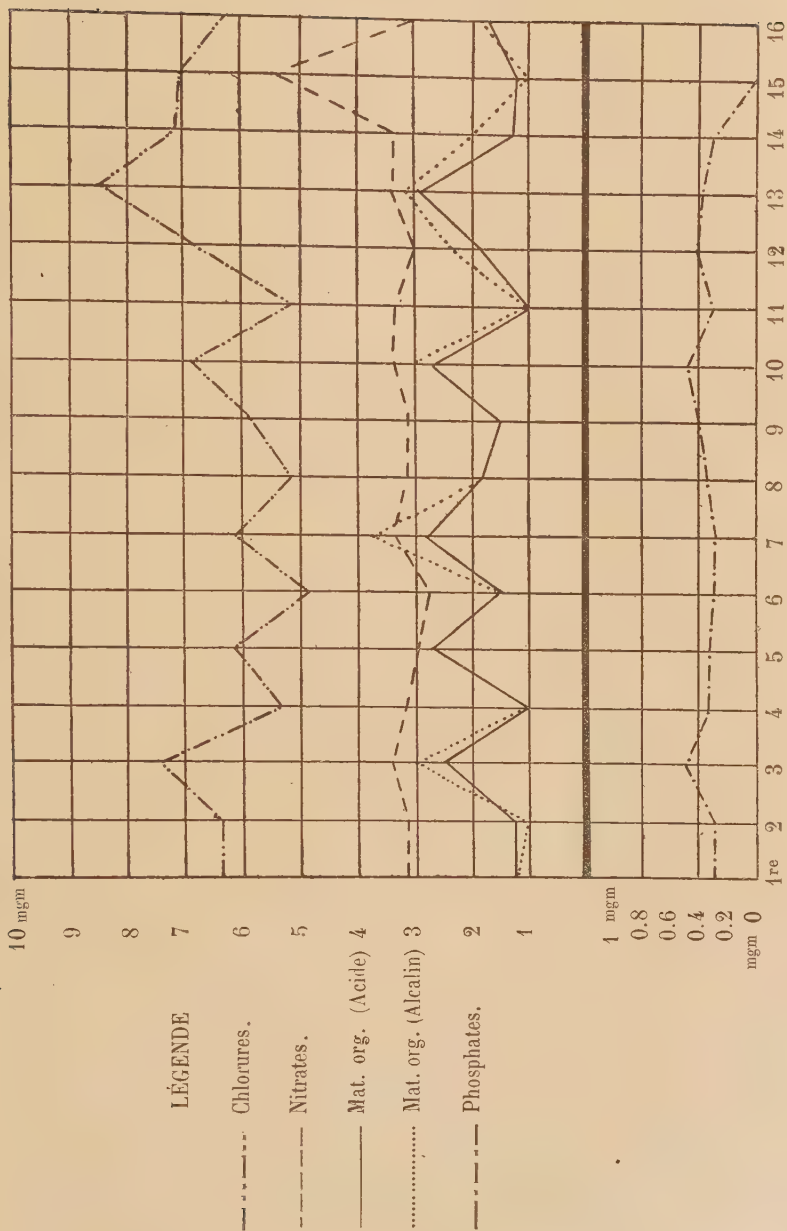
1° Date des prélèvements et valeur en m/m des eaux tombées les jours précédents.

Analyse n° 1	mai 10 : 5 m/m en une fois.
— 2	mai 22 : 0 m/m 5 en une fois.
— 3	juin 9 : 70 m/m en 3 jours consécutifs.
— 4	juin 18 : 3 m/m en 2 jours consécutifs.
— 5	juillet 6 : 8 m/m le jour précédent.
— 6	juillet 15 : 0 m/m 8 en 2 j. consécutifs.
— 7	juillet 26 : 45 m/m 7 en 2 j. consécutifs.
— 8	août 14 : 5 m/m 1 en 1 fois.
— 9	sept. 6 : 27 m/m 7 en 2 fois 3 j. auparavant.
— 10	sept. 16 : 28 m/m en 1 fois.
— 11	octobre 13 : néant.
— 12	octobre 24 : 36 m/m en 4 fois.
— 13	nov. 2 : 25 m/m 4 en 4 fois (13 m/m le j.).
— 14	novembre 12 : néant.
— 15	novembre 20 : néant.
— 16	février 9 : néant.

Résultats de l'Analyse Chimique

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NH ₃	néant	néant	traces	néant	néant	néant	traces	néant	néant	traces	néant	traces	traces	néant	néant	néant
NO ² H	néant	néant	traces	néant	néant	néant	néant	néant	néant	traces	néant	néant	néant	néant	néant	néant
NO ² H	3 mgm 20	3 mgm 20	3 mgm 35	3 mgm 20	3 mgm	2 mg 75	3 mg 36	3 mgm 20	3 mg 20	3 mgm 35	3 mgm 30	3 mgm	3 mg 24	3 mg 40	5 mg 40	2 mg 95
P ₂ O ₅ NaII	0 mgm 24	0 mgm 34	0 mg 46	0 mg 35	0 mg 35	0 mgm 32	0 mgm 32	0 mg 33	0 mg 40	0 mg 50	0 mg 30	0 mg 40	0 mg 40	0 mg 30	très légères traces	0
NaCl	6 mgm 40	6 mgm 40	7 mgm 53	5 mgm 30	6 mgm 25	4 mg 80	6 mgm 23	5 mg 22	5 mg 42	6 mg 87	5 mg 25	6 mg 80	8 mg 54	7 mg 20	7 mg 01	6 mg 36
Matières organiques (Milieu acide)	1 mgm 20	1 mgm 20	2 mgm 53	0 mg 96	2 mg 80	1 mg 52	2 mgm 85	1 mg 80	1 mg 57	2 mg 70	0 mg 96	1 mg 20	2 mg 92	1 mg 25	1 mg 20	1 mg 73
Matières organiques (Milieu alcalin)	1 mgm 20	1 mgm	2 mgm 92	0 mg 96	x	1 mg 52	3 mg 60	1 mg 78	x	3 mg 03	0 mg 96	2 mg 25	3 mg 20	1 mg 88	1 mg 18	1 mg 76
Degré hydrotimétrique total,	17.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Degré hydrotimétrique normal	2.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Degré alcalimétrique ...	0 gr. 22	0 gr. 22	0 gr. 22	0 gr. 22	0 gr. 22	0 gr. 22	0 gr. 23	0 gr. 22	0 gr. 23	0 gr. 23	0 gr. 22	0 gr. 22	0 gr. 22	0 gr. 225	0 gr. 21	0 gr. 21

Diagramme de l'Analyse chimique

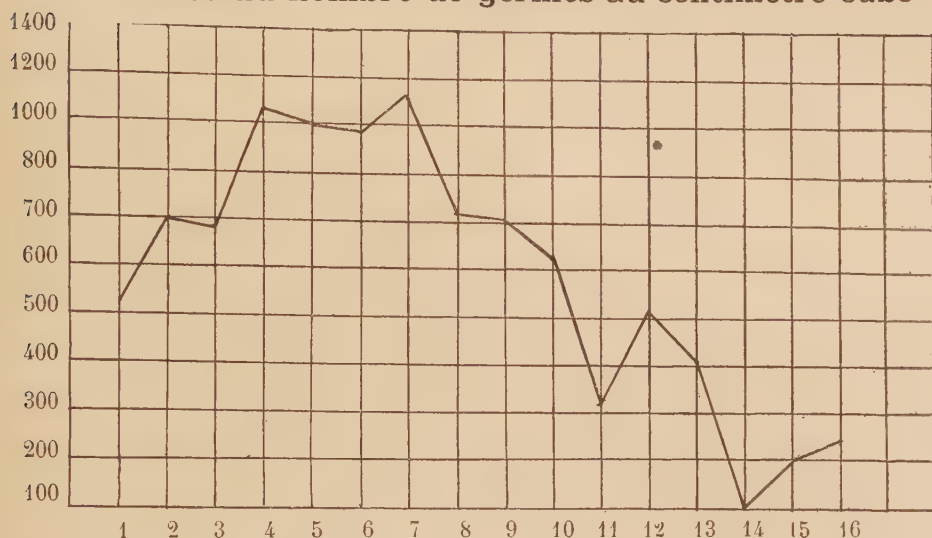


Analyse Bactériologique

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Non Chromogènes.....	180	512	660	640	990	950	920	980	675	680	607	300	483	376	90	242
Chromogènes.....	20	26	36	43	50	40	48	54	45	45	25	22	20	25	2	5
Liquéfiant.....	12	10	12	14	15	15	10	26	23	10	15	15	13	13	1	3
Totaux par Cm. ³	512	548	708	697	1095	1005	978	1060	743	705	647	337	516	414	93	250
Colibacilles au l. re.....	< 200	> 200	> 500	> 500	> 2000	> 2000	> 2000	> 2000	> 2000	> 1000	> 1500	> 200	> 500	> 330	> 55	> 1000

Numération des germes Aérobie

Courbe du nombre de germes au centimètre cube



2° Résultats des analyses.

Des analyses que nous avons effectuées, il ressort les faits suivants :

A. — AU POINT DE VUE CHIMIQUE

a) Les chlorures subissent des variations qui sont en rapport, en dehors du jet dans le sous-sol de liquides organiques, avec les précipitations atmosphériques. Les pluies d'orage des mois de juin et juillet ont une influence sur la quantité des chlorures qui s'accroît. Il en est de même pour les pluies d'automne;

b) La courbe des matières organiques est comparable dans son ensemble à celle des chlorures. D'une façon presque constante, la quantité des matières organiques

dosées en milieu alcalin est supérieure à celle des matières dosées en milieu acide;

c) Les nitrates sont, pendant la période pluvieuse, peu variables. Leur augmentation brusque coïncide avec une période de sécheresse, alors que la matière organique baisse et que les phosphates disparaissent;

d) Les phosphates sont à l'état de traces pendant la plus grande partie de l'année.

e) Un dosage de l'azote albuminoïde fait au laboratoire d'hydrologie, confirme l'origine animale de la contamination. Il indique, en outre, — la dose trouvée étant de 0 mgm 12 par litre — que la contamination est réduite pendant la période considérée.

B. — AU POINT DE VUE BACTÉRIOLOGIQUE

a) Le nombre des germes au cmc. varie suivant une courbe que l'on peut diviser en deux parties :

Une première partie, où se trouvent tous les maxima correspond à la période pendant laquelle les eaux furent nettement contaminées.

Une seconde partie où se trouvent tous les minima, correspond à une période où les déchets de la laiterie servent à l'alimentation d'animaux et à la période d'hiver alors que la température est très basse (—16° aux Fourgs) et que le sol est recouvert par une épaisse couche, permanente, de neige;

b) Enfin l'analyse qualitative démontre la présence constante, dans des proportions variables, des coli-bacilles et des para-coli-bacilles.

CONCLUSIONS

1° La source Martin-Haute est une résurgence du calcaire fissuré;

2° Elle est en relation avec le bassin fermé des Fourgs, et avec le réseau souterrain, profond, du Mont-d'Or dont les apports constituent la majeure partie de son débit;

3° Les fissurations qui la relieut au plateau des Fourgs sont une cause de contamination :

Cette contamination :

a) Est permanente durant une année pluvieuse;

b) Elle a eu son maximum d'intensité pendant la période chaude, et coïncide avec le jet d'un milieu propice à la multiplication des germes;

c) Elle est d'origine animale comme le prouvent la présence et les variations des chlorures, le taux des matières organiques, plus élevé en milieu alcalin qu'en milieu acide, la teneur en Az. albuminoïde, la présence des microbes d'origine intestinale.

d) Elle est tempérée dans de fortes proportions par les apports importants du Mont-d'Or;

4° Les mesures pratiques envisagées pour réduire la contamination ou purifier les eaux sont de deux sortes : collectives et domestiques.

a) *Mesures collectives.* — Dans son rapport sur la contamination des eaux alimentant Pontarlier, le professeur Fournier indique :

1° D'éliminer une partie des facteurs de contamination en réalisant l'épandage sur les graviers glaciaires près de la porcherie, des eaux résiduaires du village des Fourgs, de la fromagerie, etc.;

2° D'organiser immédiatement la javellisation continue et permanente des eaux.

Ce genre d'épuration qui consiste à utiliser le chlore actif des hypochlorites n'a de valeur qu'autant qu'il est effectif. D'où la nécessité d'employer une dose optimale d'hypochlorite. Cette dose correspond à la quantité de chlore suffisante pour modifier, par oxydation, substitution ou addition halogénée, les différents éléments dissous ou en suspension dans l'eau. Le chlore est alors dissimulé aux réactifs. Suivant les circonstances, la quantité de chlore est variable. Elle est d'autant plus faible que l'eau est limpide, aussi ne doit-on pratiquer la javellisation que sur des eaux qui ont subi une préfiltration ou tout au moins une sérieuse décantation. On évite ainsi l'emploi d'une dose d'eau de Javel susceptible de modifier les caractères organoleptiques de l'eau. L'épuration de l'eau à la source par la javellisation est une opération délicate, qui pour être faite dans les meilleures conditions doit être surveillée. Aussi le professeur Fournier

propose-t-il pour trancher radicalement la question de capter des eaux nouvelles et pures dans les alluvions fluvio-glaciaires;

b) *Épuration domestique.* — En attendant que ces mesures soient réalisées, on devra pratiquer l'épuration domestique par la chaleur, les filtres, la javellisation, l'ozone, ou les rayons ultra-violets, au moyen des procédés connus utilisant un de ces agents.

Vu :

Le Doyen,

Le Président de la Thèse,

Jean LEPINE.

P. COURMONT.

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 31 mai 1923.

Le Recteur, Président du Conseil de l'Université,

J. CAVALIER

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

ANDRÉ G. — Chimie agricole. Chimie du sol (Baillière J.-B. et Fils, 1913).

CHALON. — Eaux Souterraines. Recherche. Captage. Purification (Ch. Béranger, Paris-Liège, 1913).

COURMONT-ROCHAIX. — *Précis d'Hygiène* (2^e édition. Masson, Paris, 1921).

Archives de la Ville de Pontarlier relatives aux eaux d'alimentation et particulièrement aux eaux de la Source Martin-Haute.

FLORENTIN D. — Sur le dosage des phosphates dans les eaux (*An. Chimie analytique*, p. 295, oct. 1921).

FOURNIER. — Etudes sur la tectonique du Jura (*Feuille des Jeunes Naturalistes*, t. xxviii, n^o 355, p. 197, n^o 336, p. 213. Rennes, Oberthur, septembre et octobre 1898).

— Recherches spéléologiques dans le Jura franc-comtois (*Spelunca*. Simon, Rennes, 1900).

— Recherches spéléologiques et hydrologiques dans la chaîne du Jura. (Bulletin de la Société d'Histoire Nat. du Doubs, n^o 30, page 18 et p. 28-47. Besançon, Dodièrs, 1918).

— Essai sur la circulation des eaux dans les massifs calcaires du Jura (En collaboration avec M. Magnin). (*Mémoires de la Société Belge de Géologie, Paléontologie et Hydrologie*, t. XVII, p. 523-537. Bruxelles, Hayez, 1903).

- FOURNIER. — Rapport sur les pertes du Doubs et sur la capture progressive du Doubs supérieur par la Loue Montbéliard. Imprimerie montbéliardaise 1907-1908).
- Mont-d'Or et Faucille (Journal *La Nature*, n° 2074, pages 197-200).
- Sur l'origine des sources de Pontarlier, Expérience de coloration des Fourgs. (*Journal de Pontarlier*, n° 22, 8 juin 1913.)
- Le percement du Mont-d'Or et ses conséquences hydrologiques et économiques (Journal *La Franche-Comté*, à Paris, nos 16-23; Tirages à part réunis en brochure. Besançon, Ch. Rambaud et Fils 1914).
- Rapport sur les perturbations apportées au régime du Bief-Rouge (Besançon, Jacques et Demontrond 1919).
- JADIN. — *Précis d'hydrologie et de Minéralogie* (Maloine 1920).
- KAYSER ED. — *Microbiologie Agricole* (J.-B. Baillière et Fils, 1914).
- LAJOUX et GRANYAL. — Nouveau procédé pour la recherche et le dosage rapide de faibles quantités d'acide nitrique dans l'air, l'eau, sol (C. R. Académie des Sciences, 1885, C. I., page 62).
- LEYSSENNE. — Les eaux en Champagne dévastée (Claude Helluy. Reims, 1921).
- MALMÉJAC. — Méthode des chlorures dans l'analyse des eaux (*Journal de Ch. et Physique*, 1920, page 263).
- MEYNIER. — La fièvre typhoïde et les eaux à St-Claude-Bienne (Lyon, A. Rey et Cie, 1904).
- MARTEL. — *Nouveau traité des sources souterraines* (Doin, 1921).

- MAGNIN. — *La végétation des Monts du Jura et Climatologie* (Besançon. Dodivers, 1893).
- *Les lacs du Jura* (H. Georg, Lyon, 1895).
- MARÉCHAL. — Régime bactériologique des Sources Vauclusiennes dans le Doubs (Besançon, 1903. S. Histoire Naturelle du Doubs).
- *Les eaux d'alimentation dans le département du Doubs* (Besançon. Jacquin, 1903).
- MÉTADIER. — *Les eaux d'alimentation de la ville de Tours* (Tours. Arrault, 1912).
- OLLAGNIER. — Recherches sur la contamination du Doubs pendant la traversée de Besançon et son auto-épuration (Villefranche, Réveil du Beaujolais, 1921).
- PECKER H. — Sur l'épuration des eaux potables par le chlore (*Bulletin des Soc. Pharmacologiques*, 1921, page 459).
- POUCHET et BONJEAN. — Contribution à l'analyse des eaux potables (*An. d'Hygiène publique et de Médecine légale*, 1910).
- ROCHAIX. — Recherche rapide de la contamination bactériologique des eaux de boisson. *Revue d'Hygiène et de Police sanitaire*. T. XXXIX, n° 7-8, juillet-août 1917, p. 472.
- ROUX-ROCHAIX. — Précis de Microbie et de technique bactérioscopique (Maloine, 1911).
- RONCHÈSE. — Dosage de l'ammoniaque dans les eaux (*Bulletin de la Société de Chimie de France*, 1908).

